Vergleich der Temperatur auf dem Brocken und in der gleichen Höhe der freien Atmosphäre auf Grund neuerer Ballon- und Drachenaufstiege

---

Inaugural-Dissertation,

zur Erlangung der Doktorwürde

der hohen philosophischen Fakultät der Universität Rostock

vorgelegt von

Alfred Hildebrandt
aus Wittingen

Stuttgart
Druck von Strecker & Schröder
1911

Referenten:

Professor Dr. Ule
Professor Dr. Kümmell

Inhalt.

Seite

Einleitung 1
Arbeitsmethoden 15
Ergebnisse 19
Anhang 27

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41553615_0053

I. Allgemeines.

Zum Studium der atmosphärischen Schichten, die der Erdoberfläche entrückt sind, schienen in erster Linie die Bergobservatorien berufen. Man hat jedoch bald erkannt, daß die dort gewonnenen Werte wesentlich durch das Bergmassiv beeinflußt werden. Ganz besonders ist dies in bezug auf die Temperatur der Fall. Deshalb ist die Notwendigkeit, auch die freie Atmosphäre zu erforschen, seit langem betont worden. Systematisch ist die Erforschung der höheren Schichten der Atmosphäre über weiteren Landstrecken des Kontinents aber erst begonnen worden, nachdem die „Internationale Kommission für wissenschaftliche Luftschiffahrt" ins Leben gerufen war. Auf der ersten Versammlung der Mitglieder dieser Kommission, die 1898 zu Straßburg i. E. stattfand, wurde gemeinsames Vorgehen aller Nationen beschlossen,[1] und von dem Zeitpunkt ab begann die Entwicklung dieser Forschung. Sehr treffend hat der Meteorologe der Seewarte und Leiter der Hamburger Drachenstation, W. Köppen, 1901 die Notwendigkeit der Erforschung der freien Atmosphäre in folgenden Worten ausgesprochen:[2] „Und so frei auch der Gipfel gelegen sein mag, immer ist eine Einwirkung der Bergmasse auf die Aufzeichnungen vorhanden in einem bis auf weiteres nicht genau bestimmbaren Umfange. Soll die Meteorologie von dem Kleben am Boden sich befreien, so müssen also unbedingt noch andere Mittel benutzt werden."

[1] Protokoll über die vom 31. März bis 4. April 1898 zu Straßburg i. E. abgehaltene erste Versammlung der Internationalen Aeronautischen Kommission. Straßburg 1898.

[2] Aus dem Archiv der Deutschen Seewarte, 24. Jahrgang, 1901. Bericht über die Erforschung der freien Atmosphäre mit Hülfe von Drachen. Von Prof. Dr. W. Köppen. Hamburg 1902.

Nahe lag es nun, gerade die Frage zu untersuchen, wie sich die Temperatur auf Berggipfeln zu derjenigen in der freien Atmosphäre in gleicher Höhe verhält. Zunächst mußte man sich auf theoretische Erwägungen, Berechnungen der Temperaturabnahme mit der Höhe, beschränken.

Ursprünglich nahm man als feststehend an, daß die Berge wärmer seien. Verschiedene Gründe wurden dafür angegeben. Der feste Erdboden wird von der Sonne um einige Grade mehr erwärmt[3] als die Luft über ihm, die ihre Wärme hauptsächlich von dem Erdboden erhält. Man fand ferner, daß im Gebirge die Temperaturabnahme mit der Höhe um so geringer wird, je mehr Landoberfläche sich um einen Berggipfel befindet. In der Mitte der Gebirgsländer ist es tatsächlich wärmer als an ihren Rändern. Erwärmend wirkt auch die an den erwärmten Hängen aufsteigende warme Luft.

Demgegenüber glaubten manche Forscher auch hinreichend überzeugende Gründe gefunden zu haben, die zu dem Schlusse berechtigen, die Berge seien kälter als die freie Atmosphäre in gleicher Höhe.[4] Berge, namentlich isolierte, seien den Einflüssen der Erwärmung und Ausstrahlung nicht so stark ausgesetzt wie Ebenen und Täler. Stets, namentlich aber im Winter, kämen bei Bergen niedrigere Temperaturminima vor als in der freien Atmosphäre in derselben Höhe, weil einmal die Oberfläche des Schnees Wärme ausstrahlt und ferner auch aufsteigende Luftbewegungen längs der Bergseiten vorkommen, welche die schon unten erkaltete Luft in die Höhe führen und dynamisch noch weiter abkühlen. Beide Ursachen großer Kälte fehlen in der freien Luft.

Der Untersuchung der schwebenden Frage, wie sich Berge zur freien Atmosphäre verhalten, boten sich große Schwierigkeiten, da das vorliegende Material äußerst spärlich war. Es lagen allerdings aus der freien Atmosphäre schon Temperatur-

---

[3] J. Hann, Meteorologische Zeitschrift, Mai 1910, S. 215.

[4] Klima von Ostsibirien. Von Dr. Alexander Woeikof in St. Petersburg. Meteorologische Zeitschrift, November-Dezember 1884, S. 449 ff.

Temperaturänderung mit der Höhe in Bergländern und in der freien Atmosphäre. Von A. Woeikof. Meteorologische Zeitschrift, Juni 1885, S. 203, 216 ff. und an anderen Stellen.

beobachtungen vor, die namentlich Glaisher[5] bei seinen in den Jahren 1862—1866 in England unternommenen 28 Ballonfahrten gewonnen hatte. Aber, wie auch Woeikof und Hann betont haben, erstrecken sich die Beobachtungen über zu geringe Zeiträume.[6] Es lagen nur gelegentliche Stichproben aus den oberen Schichten der Atmosphäre vor, aus denen man noch keine bestimmten Schlüsse allgemeinerer Art ziehen konnte. Den Arbeiten Glaishers ist aber auch aus einem anderen Grunde nur ein beschränkter Wert beizumessen. Seine Temperaturangaben sind nämlich, wie R. Aßmann zuerst nachgewiesen hat, unter dem Einflusse der Sonnenstrahlung, wahrscheinlich auch der Körper- und Ballonkorbstrahlung, zum größten Teile zu hoch.

Die ersten bei Registrierballonfahrten gewonnenen Temperaturwerte waren ebenfalls nicht einwandfrei, weil die Thermometer noch nicht entsprechend vervollkommnet waren; sie vermochten beim schnellen Auf- und Absteigen den Änderungen der Temperatur nicht schnell genug zu folgen, so daß sich beim Aufstieg zu hohe, beim Abstieg zu niedrige Werte ergaben.

A. Woeikof[7] betont auch, daß man den jeweiligen Ballonort bei Registrierballonen nicht feststellen kann und demnach bei Bestimmung der Höhe lediglich auf die Luftdruckaufzeich-

[5] An Account of Meteorological and Physical Observations. Made in nine Balloon Ascents in the years 1863 and 1864. By James Glaisher, F.R.S. From the Report of the British Association for the Advancement of Science for 1864.

[6] Lehrbuch der Meteorologie. Von Dr. Julius Hann. 1905, S. 100.

J. Hann, Meteorologische Zeitschrift, Mai 1910, S. 215.

Die Gesetze der Temperaturänderung in aufsteigenden Luftströmungen und einige der wichtigsten Folgerungen aus denselben. Von Dr. J. Hann. Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie, 9. Bd., Nr. 21 und 22.

A. Woeikof, Temperaturänderung mit der Höhe in Bergländern und in der freien Atmosphäre. Meteorologische Zeitschrift, Juni 1885.

Über die Temperaturabnahme mit der Höhe bis zu 10 km nach den Ergebnissen der internationalen Ballonaufstiege. Aus den Sitzungsberichten der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften in Wien. Mathem.-Naturw. Klasse, 113. Bd., Abt. IIa, Mai 1904.

[7] Meteorologische Zeitschrift, Juni 1885, S. 202.

nung angewiesen sei. Ferner[8] beziehen sich die Beobachtungsresultate vielfach nur auf die Morgenstunden. Die Temperatur ist aber von der Tageszeit abhängig; demnach kann man aus diesen Ergebnissen keine allgemeinen Schlüsse ziehen. Reine Drachenstationen können nur bei stärkeren Winden (von 4 bis 5 m ab) arbeiten, reine Ballonstationen dagegen umgekehrt nur bei schwachem Winde. (Bei Schiffstationen,[9] wie Friedrichshafen am Bodensee, können allerdings Fesselballonaufstiege auch bei ziemlich bewegter Luft stattfinden.) Horizontal fortbewegte Luft steigt an den Berghängen empor und wird dynamisch abgekühlt. Demnach ergeben sich verschiedene Verhältnisse bei bewegter und bei ruhiger Atmosphäre. Die gewonnenen Werte müssen deshalb verschieden beurteilt werden, je nachdem bewegte oder unbewegte Luft geherrscht hat; es könnten sonst, weil zu wenig Material vorliegt, falsche Schlüsse gezogen werden. Endlich sind die zur Verfügung stehenden Werte in zu großer Entfernung von den zum Vergleich herangezogenen Berggipfeln gewonnen.

Erst als ein einwandfreies Thermometer in dem von R. Aßmann 1887 erdachten und im Verein mit Bartsch von Sigsfeld ausgeführten Aspirationsthermometer gefunden war, konnte man mit Erfolg an die Ausführung von Ballonfahrten zur Erforschung der höheren Schichten der Atmosphäre gehen. R. Aßmann veranstaltete bald eine Reihe systematischer Fahrten im Deutschen Verein zur Förderung der Luftschiffahrt[10] zu Berlin in den Jahren 1891—1898. Bei der Bearbeitung dieser Fahrten hat nun zum ersten Male A. Berson[11] seine bestimmte Stellungnahme da-

---

[8] S. auch J. Hann, Bemerkungen über die Temperatur in den Zyklonen und Antizyklonen. Meteorologische Zeitschrift, 1890, Nr. 9.

J. Hann, Die Gesetze der Temperaturänderung in aufsteigenden Luftströmungen und einige der wichtigsten Folgerungen aus denselben. Zeitschrift der Österreichischen Gesellschaft für Meteorologie, 9. Bd., Nr. 21, 1874.

J. Hann, Die Wärmeabnahme mit der Höhe an der Erdoberfläche und ihre jährliche Periode. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften. Mathem.-Naturw. Klasse, 61. Bd., Abt. II, 1870.

[9] Schiffsexpedition des Verfassers in die isländischen Gewässer. 1907.

[10] Jetzt: Berliner Verein für Luftschiffahrt.

[11] Wissenschaftliche Luftfahrten. Ausgeführt vom Deutschen Verein zur Förderung der Luftschiffahrt in Berlin. Unter Mitwirkung von O. Baschin,

hin fixiert: Gebirge seien im Mittel etwas kälter als gleiche Höhen in der freien Atmosphäre. Der mittlere Temperaturgradient im Gebirge ist nach Berson „nicht unmerklich höher" als für die gleichen Schichten der freien Atmosphäre. Er beträgt in der freien Atmosphäre für die unteren 3000 m 0,51° pro 100 m, für das Gebirge aber nach Hann 0,57° bis 0,58° pro 100 m.[12] Der Einfluß des Erdbodens soll sich nun im Gesamtmittel in einer relativen Abkühlung der unteren Luftschichten geltend machen.[13]

Hann[14] hat weiter darauf hingewiesen, daß von Bezold ferner den Satz aufgestellt hat, die höheren Luftschichten werden wohl durch die Erdbodenwärme erwärmt, nicht aber durch die Erkaltung des Bodens abgekühlt, so daß also der Boden auf die unteren Schichten relativ abkühlend wirkt, worauf die geringere Wärmeabnahme nach oben zurückzuführen ist. Dieser Satz hat aber nach Hann nur Gültigkeit für ebenes Gelände oder Talmulden, wo die kalten Luftschichten liegen bleiben, während sie von Berggipfeln aber abfließen und durch wärmere Luft aus der Höhe ersetzt werden.

Berson kommt zu dem Schluß, daß es im Gebirge tatsächlich in rund 1000 m um etwa 1°, in 2000 bis 3000 m um 2°

W. von Bezold, R. Börnstein, H. Groß, V. Kremser, H. Stade und R. Süring herausgegeben von Richard Aßmann und Arthur Berson. In drei Bänden. Braunschweig, Druck und Verlag von Friedrich Vieweg & Sohn, 1899. 3. Bd., S. 88 ff.

[12] S. auch Johannes Schubert, Über die Feuchtigkeit und Temperatur der Luft im Gebirge und in der freien Atmosphäre. Meteorologische Zeitschrift, 1909.

Die Wärmeabnahme mit der Höhe in den Schweizer Alpen. Von J. Maurer. Meteorologische Zeitschrift, Juni 1908.

Beiträge zum täglichen Gange der meteorologischen Elemente in den höheren Luftschichten. Von J. Hann. Sitzungsberichte der Mathem.-Naturw. Klasse der Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften C, 3. Bd., Abt. IIa, Jahrgang 1894, Wien.

[13] W. von Bezold. Theoretische Schlußbetrachtungen. Wissenschaftliche Luftfahrten, 3. Bd., S. 297.

S. auch: Zur Thermodynamik der Atmosphäre. Von W. von Bezold. Mathematische und naturwissenschaftliche Mitteilungen aus den Sitzungsberichten der Königl. Preuß. Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 1888, 1890, 1900.

[14] Wissenschaftliche Luftfahrten. Von J. Hann. Geographische Zeitschrift, 7. Jahrgang, 1901, 3. Heft.

kälter ist als in der freien Atmosphäre. Dieser Schluß wird durch die Ergebnisse der hier vorliegenden Untersuchungen im wesentlichen bestätigt.

Auch die verschiedensten früher vorgenommenen Vergleiche haben schon die Annahme Bersons bestätigt. So findet Schmauß[15] beim Vergleich der bei sechs Registrierballonfahrten gewonnenen Temperaturwerte mit den auf der Zugspitze beobachteten, daß die freie Atmosphäre über München in 2960 m Seehöhe um 1,9° wärmer ist als die Zugspitze zu derselben Zeit. Dieser Wert vermindert sich auf 1,4°, wenn man nicht die synchronen Beobachtungen, sondern die Temperaturtagesmittel zum Vergleich heranzieht. Dasselbe Ergebnis findet Schmauß[16] bei Registrierballonaufstiegen im Januar 1908. Die Temperaturen der Hochstationen waren zum Teil erheblich niedriger als die der freien Atmosphäre in gleicher Höhe. Durch den Vergleich[17] der Ergebnisse von 44 Ballonfahrten, die vom Januar 1906 bis 1. August 1908 ausgeführt sind, stellt A. Schmauß[18] ferner fest, daß die Zugspitze 34mal kälter, 2mal gleichwarm und nur 8mal wärmer war als die freie Atmosphäre. Die Differenz betrug 1906 (13 Fahrten) nur 0,4°, 1907 (17 Fahrten) 2,2° und 1908 (14 Fahrten) 2,1°, im Mittel 1,6°. Wieder nähern sich

---

[15] Dr. A. Schmauß, Der Temperaturgang auf der Zugspitze und in der gleichen Seehöhe der freien Atmosphäre über der bayrischen Hochebene vom 22. bis 27. Juli 1907.

Beobachtungen der Meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. Herausgegeben von Fritz Erk. 28. Bd, 1906.

Meteorologische Zeitschrift, 1907, Dezember, S. 549. (Hann.)

[16] Die Temperatur der unteren Schichten der freien Atmosphäre über München am 2., 3. u. 4. Januar 1908. Von A. Schmauß. Meteorologische Zeitschrift, Juni 1908.

[17] A. Schmauß, Gleichzeitige Temperaturen auf der Zugspitze und in der gleichen Seehöhe der freien Atmosphäre über München. Meteorologische Zeitschrift, 1909, Januar.

[18] Beobachtungen der meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. Herausgegeben von der K. B. Meteorologischen Zentralstation durch Fritz Erk. 30. Bd, Jahrgang 1908.

Die von der K. B. Meteorologischen Zentralstation im Jahre 1908 veranstalteten Registrierballonfahrten. Von August Schmauß. Mit einem Anhang: „Gleichzeitige Temperaturen auf der Zugspitze und in der freien Atmosphäre in gleicher Seehöhe".

die Werte, wenn nicht die synchronen Beobachtungen, sondern die Tagesmittel der Zugspitze zum Vergleich herangezogen werden, und zwar kommen die aus den Extremen ($^1/_2$ [Max. + Min.]) gewonnenen Mittel am meisten der Temperatur in der freien Atmosphäre nahe. Alsdann beträgt die Differenz für 1907 und 1908 nur noch 1,1°. Wir werden bei unseren Untersuchungen sehen, daß sich die Differenzen zwischen den Temperaturen der freien Atmosphäre und des Brockens vergrößern, wenn wir nicht die synchronen Werte des Brockens, sondern das Jahresmittel der Jahre 1851–1900 zum Vergleich heranziehen, während beim Vergleich mit den Monatsmitteln dieser Jahre der Unterschied bald größer, bald geringer ausfällt. Die Werte sind in der Tabelle I zu ersehen, in der, wenn der Brocken kälter war als die freie Atmosphäre, dem Differenzwert das negative Vorzeichen, wenn er wärmer war, das positive Vorzeichen gegeben ist.

Tabelle I

Monat	Vergl. mit den synchronen Werten			Vergl. mit den langjährigen Mitteln		
	Freie Atm.	Brocken	Differenz Brocken minus freie Atmosphäre	Differenz Brocken minus freie Atmosphäre	Freie Atm.	Brocken
Januar . .	— 2,9	— 4,1	— 1,2	— 1,1	— 2,9	— 4,0
Februar . .	— 3,8	— 4,8	— 1,0	— 0,7	— 3,8	— 4,5
März . . .	— 2,0	— 3,0	— 1,0	— 1,2	— 2,0	— 3,2
April . . .	0,8	0,0	— 0,8	± 0,0	0,8	0,8
Mai . . .	5,9	5,7	— 0,2	— 0,8	5,9	5,1
Juni . . .	9,3	9,2	— 0,1	— 0,4	9,3	8,9
Juli . . .	9,9	9,8	— 0,1	+ 0,7	9,9	10,6
August . .	9,8	9,4	— 0,4	+ 0,5	9,8	10,3
September .	7,4	7,0	— 0,4	+ 0,3	7,4	7,7
Oktober . .	5,7	4,6	— 1,1	— 2,2	5,7	3,5
November .	0,4	— 0,5	— 0,9	— 1,4	0,4	— 1,0
Dezember .	— 1,8	— 3,4	— 1,6	— 2,0	— 1,8	— 3,8

Bei der Beurteilung der Verschiedenheit der Ergebnisse, die von Schmauß und von mir gefunden sind, ist zu berücksichtigen, daß beim Vergleich von Schmauß die Tagesmittel der betreffenden Tage benutzt sind, von mir dagegen

Jahresmittel, die aus einer langjährigen Reihe gewonnen wurden.[19]

Auch J. Schubert[20] findet, daß die Luft im Gebirge mit wachsender Höhe in steigendem Maße kälter wird als in der freien Atmosphäre.

Er sieht den Grund für diese Erscheinung darin, daß die Neigung der freien Atmosphäre zur Schichtenbildung das Auf- und Absteigen der Luftströme unterbricht. Wenn aber kein Aufsteigen der Luft stattfindet, wird die Temperaturabnahme mit der Höhe verringert, so daß die oberen Schichten relativ warm erscheinen. An den Berghängen wird dagegen die seitlich gegenströmende Luft in die Höhe geführt und dynamisch stark abgekühlt.

Sehr vorsichtig drückt sich A. de Quervain aus. Er bearbeitete[21] die Ergebnisse von 113 Aufstiegen der Drachenstation am Bodensee in den sechs Monaten Juli bis Dezember 1908 im Vergleich mit dem nur 38 km entfernten Säntisobservatorium. Er wendet sich gegen den Einwand, daß diese Resultate nur bei windigem Wetter gewonnen wären, und sagt, die Beobachtungen seien vielfach im Fesselballon erfolgt, so daß also im Gegenteil eher zu wenig Beobachtungen bei windigem Wetter vorlägen. Obwohl also das Moment, das zu einer relativen Abkühlung der Berge führen müßte, nämlich das infolge der Luftbewegung erzwungene Aufsteigen der Luft, stark in den Hintergrund tritt, sind immer noch die Berge kühler als die freie Atmosphäre. Nach de Quervain sind morgens die Bergstationen nur wenig, 1°, kälter, in der Mittagszeit dagegen gleichwarm. De Quervain faßt sein Urteil wie folgt zusammen: „Das Wesentliche dieses vorläufigen Vergleichs zwischen Säntis und Drachenstation Friedrichshafen dürfte in dem Nachweis liegen, daß der Berggipfel ein wenig kälter als die freie

[19] C. Kaßner, Normale Monatsmittel der Temperatur und des Niederschlages für den Brocken. Meteorologische Zeitschrift, 1906, Juli.

[20] Johannes Schubert, Über die Feuchtigkeit und Temperatur im Gebirge und in der freien Atmosphäre. Meteorologische Zeitschrift, 1909.

[21] Der Temperaturunterschied zwischen dem Säntisgipfel und den aerologischen Messungen der Drachenstationen am Bodensee. Von A. de Quervain, Meteorologische Zeitschrift, 1910, November.

Atmosphäre ist, wobei ich den Nachdruck mehr auf das ‚wenig' als auf das ‚kälter' legen möchte."[22]

Auch Shaw und Dines[23] finden aus den Ergebnissen von 28 Drachenaufstiegen, die sie im Juli und August 1902 veranstalteten, daß die Temperatur auf dem Ben Nevis, 1343 m, in allen Fällen tiefer war als die der freien Atmosphäre in der gleichen Seehöhe; die mittlere Differenz betrug 2,6°.

Temperaturunterschiede nach der negativen und positiven Seite hin haben bei ihren Vergleichen Finsterwalder und Sohncke[24] festgestellt. Es ergab sich folgendes: Bei einer Fahrt am 19. Juni 1889, wo wolkiges, gewitterhaftes Wetter herrschte, war die Luftsäule von 802 m bis 1727 m Meereshöhe im Gebirge durchschnittlich 2,3° wärmer als die gleiche Schicht der freien Atmosphäre; bei der zweiten Fahrt, die am 10. Juli 1889 bei sonnigem, etwas dunstigem Wetter unternommen wurde, war die Luft im Gebirge um 2,2° wärmer als die freie Atmosphäre; bei der dritten Fahrt am 25. Juni 1890 ergab sich ebenfalls ein kleiner Temperaturüberschuß zugunsten der Gebirgsstation. Bei zwei Nachtfahrten, am 2. und 8. Juli 1893, zeigte sich, daß in den Nachtstunden die Temperatur der Bergstation niedriger war als diejenige der freien Atmosphäre. Gelegent-

[22] Vgl. auch Meteorologische Zeitschrift, 1909: Die Temperatur des Säntisgipfels.

[23] E. Gold and. W. A. Harwood, Report of the Winnipeg Association of Science, Section 1909.

[24] Einige Ergebnisse wissenschaftlicher Fahrten des Münchener Vereins für Luftschiffahrt. Von S. Finsterwalder und L. Sohncke. Meteorologische Zeitschrift, Oktober 1894.

Abhandlungen der Mathematisch-Physikalischen Klasse der Kgl. Bayrischen Akademie der Wissenschaften, 2. Klasse, 18. Bd, 3. Abt., München 1895.

Beobachtungen der Meteorologischen Stationen im Königreich Bayern. Herausgegeben von der Kgl. Meteorologischen Zentralstation durch Dr. Karl Lang und Dr. Fritz Erk. 9. Jahrgang 1887, 13. Jahrgang 1891, 14. Jahrgang 1892, 15. Jahrgang 1893.

Finsterwalder, Adiabatische Zustandsänderungen in der Atmosphäre. Jahresbericht des Münchener Vereins für Luftschiffahrt für 1891, München 1891, für 1892, München 1893, für 1893, München 1894.

Sohncke und Finsterwalder, Bemerkungen über die bei Ballonbeobachtungen erreichbare Genauigkeit. Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre, Heft 7, 1894.

lich einer Doppelfahrt, die am 11. Juli 1892 bei kühlem Wetter, nach regnerischer Nacht, stattfand, herrschte im Gebirge Gewitter mit Regen, und nur ein Ballon fand zum größeren Teile ziemlich heiteres Wetter. Es ergab sich, daß die Luft im Gebirge merklich kälter war als in der freien Atmosphäre — 2,2° beim Stationspaar Sulz (625 m), Peißenberg (994 m); — 1,0° beim Stationspaar Scharling (768 m), Hirschberg (1512 m); — 1,8° beim Stationspaar Bayr.-Zell (802 m), Wendelsteinhaus (1727 m). Bei der sechsten Fahrt am 11. Dezember 1890, einer Winterfahrt über geschlossener Nebeldecke, war das Gebirge erheblich kälter als die freie Atmosphäre (— 4,2° und — 1,7°). Die letzte der von Finsterwalder und Sohncke bearbeiteten Fahrten wurde am 27. Februar 1893 bei schönem Wetter unternommen. Die Hochebene war schneelos, das Hochgebirge trug eine zusammenhängende Schneedecke, der Bewölkungsgrad war 6. Die Differenzen gegen die gleichzeitigen Ballontemperaturen betrugen um 2p 0,0°, Wendelsteinhaus; — 0,6°, Hirschberg; — 0,1°, Peißenberg. Demnach ist in diesem letzten Falle ein markanter Unterschied nicht zu erkennen.

Finsterwalder und Sohncke fassen das Ergebnis wie folgt zusammen: „Im Sommer, bei normalem Wetter, ist die Luft im Gebirge tagsüber wärmer als die freie Atmosphäre, nachts dagegen kälter. Der Unterschied bleibt innerhalb weniger Grade. Bei abnormem Wetter kommt das entgegengesetzte Verhalten vor. Im Winter scheint die freie Atmosphäre höhere Temperatur zu besitzen als die Gebirgsstation. Es stimmt hiermit überein, daß bei der Fahrt am 27. Februar beide Temperaturen gleich waren. Die Beobachtungen machen es nicht wahrscheinlich, daß in bezug auf die jährlichen Mitteltemperaturen in gleicher Höhe ein größerer Unterschied zwischen den Gebirgsstationen und der freien Atmosphäre besteht."

Eine größere Anzahl — 380 — Ballonfahrten hat A. Wagner seinen Vergleichen zugrunde gelegt, wobei er 21 Gipfel- und Gehängestationen heranzieht.[25] Diese Untersuchungen gipfeln

[25] Die Temperaturverhältnisse in der freien Atmosphäre. (Ergebnisse der internationalen unbemannten Ballon-Aufstiege.) Von Dr. Arthur Wagner. Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre. Herausgegeben von R. Aßmann und H. Hergesell. 3. Band, 1910.

im folgenden: „Für die mittlere Jahrestemperatur folgt mit großer Wahrscheinlichkeit, daß die Berggipfel kälter sind als die freie Atmosphäre.“ Auch beim Vergleich der mittleren Gradienten — in der freien Atmosphäre 0,48° und für die Alpen (nach Hann) 0,57° — ergibt sich für die Berggipfel in der Höhe von 3 km bereits eine um 1,8° niedrigere Temperatur (ausgehend von 1 km Höhe).[26]

Als Grund für die Tatsache, die sich aus den von ihm angeführten Beispielen ergibt, daß nämlich die Berge kühler waren als die freie Atmosphäre in der gleichen Höhe, geben Schmauß und de Quervain vornehmlich die Einwirkung der Ein- und Ausstrahlung an. Schmauß sieht ferner Gründe dafür in den Energiebindungen, die beim Schmelzen des Schnees und bei Verdunstung der Niederschläge erfolgen, sowie endlich indirekt in dem Fehlen von eingestreuten Isothermien längs der Bergeshöhe, an der sie sich schwer halten können.

Diesen Feststellungen, bei denen Gipfelstationen in geringerem oder höherem Grade kälter gefunden wurden als die freie Atmosphäre, stehen aber auch Untersuchungen gegenüber, bei denen die Berge wärmer waren oder gleiche Temperatur besaßen, wie weiter oben schon mitgeteilt ist. De Quervain gibt einige solche Beispiele und folgert, daß die freie Atmosphäre im Frühjahr um 1—2° kälter, im Herbst um ungefähr ebensoviel wärmer ist als der Berggipfel.[27] Wir werden sehen, daß der Brocken im Mittel der in unserer Untersuchung berücksichtigten

[26] Immerhin aber stellt er an anderer Stelle derselben Arbeit fest (S. 94), daß zwar die Stationen Mitteldeutschlands und der Ostalpen (mit Ausnahme des Obirs) dasselbe Verhalten zeigen, dagegen aber Westeuropa (mit Ausnahme des Ben Nevis) und die Westalpen eine höhere Temperatur haben als die freie Atmosphäre.

[27] Die Hebung der atmosphärischen Isothermen in den Schweizer Alpen und ihre Beziehung zu den Höhengrenzen. Von Dr. Alfred de Quervain, Bern. Beiträge zur Geophysik. Zeitschrift für physikalische Erdkunde, 4. Bd., 4. Heft, S. 492.

W. von Bezold. Beiträge zur Thermodynamik der Atmosphäre. Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften, 1888 ff.

Wissenschaftliche Luftfahrten, 3. Bd. Geographische Zeitschrift, 1901.

Jahresberichte des Münchener Vereins für Luftschiffahrt. Fahrt des Ballons „Herder“ am 10. Juli 1889 von Erk und Finsterwalder.

Fälle im Frühling genau um denselben Betrag (0,7°) kälter als die freie Atmosphäre ist wie im Herbst.

Einige Mitteilungen von Finsterwalder und Sohncke über Beispiele, in denen die Bergstationen wärmer waren, sind schon oben angeführt. An anderer Stelle wird von ihnen nach dieser Richtung noch ein Beispiel gegeben.[28]

Am 10. Juli 1889 war die Mitteltemperatur des Talkessels von Bayr.-Zell ca. 2,3° höher als die der gleichen Schichten der freien Atmosphäre. „Hieraus muß man schließen, daß sich der erwärmende Einfluß des Bodens im Hochgebirge nicht bloß auf die untersten Schichten der Luft erstreckt."

Am meisten hat J. Hann davor gewarnt, endgültige Schlüsse aus dem vorhandenen Material zu ziehen. Er weist immer wieder nach, daß die Frage noch nicht geklärt ist, und er scheint persönlich der Ansicht zu sein, daß die Folgerung, „die Berggipfel wären kälter als die freie Atmosphäre", in dieser allgemeinen Form nicht richtig ist. In seinem Lehrbuch[29] behandelt er eingehend die Frage: „Sind die Berge kälter als die freie Atmosphäre?" Er führt an, daß bei windigem Wetter der Ben Nevis (1343 m) nach den Messungen von Dines während der Monate Juli und August 1902 um 2,6° kälter war als die freie Atmosphäre, und daß nach H. Claytons Drachenaufstiegen der Gipfel des Berges bei Blue-Hill (195 m) bei Tag gleiche Temperatur hat, nachts aber ca. 1,5° kälter ist als die freie Atmosphäre. Die Ursache hierfür sieht Hann im folgenden: „Berge zwingen die Luft zum Aufsteigen; deshalb ist die raschere dynamische Abkühlung auch dann vorhanden, wenn sie in der freien Atmosphäre fehlt." Er führt dann ferner aus:[30]

[28] Die Fahrt des Ballons „Herder" am 10. Juli 1889. Bearbeitet von Dr. F. Erk und Dr. S. Finsterwalder. Jahresbericht des Münchener Vereins für Luftschiffahrt für das Jahr 1890, München 1890.

Zeitschrift für Luftschiffahrt und Physik der Atmosphäre, 1891, S. 18.

[29] Lehrbuch der Meteorologie. Von Dr. Jul. Hann, 1905.

[30] Ist die Luft auf den Bergen kälter als die Atmosphäre in gleicher Höhe? Von J. Hann, Meteorologische Zeitschrift, Januar 1910. — Zur Genauigkeit barometrischer Höhenmessungen. Liznar, Meteorologische Zeitschrift, Dezember 1909, S. 562. — Referat über „Wissenschaftliche Luftfahrten" in Geographischer Zeitschrift 7, 1901. — „Ist die Luft auf den Bergen kälter als die Atmosphäre in gleicher Höhe?" Dr. E. van Everdingen, Meteorologische Zeitschrift, 1910.

„Die Resultate der barometrischen Höhenmessungen scheinen aber gegen die Annahme zu sprechen, daß die Berggipfel kälter sind."

An anderer Stelle seines Lehrbuches (S. 100) stellt Hann Erwägungen darüber an, welche Aenderung der Lufttemperatur wir vom rein theoretischen Standpunkte aus erwarten können, wenn wir uns einen ganz kleinen Teil der Erdoberfläche gehoben denken. Die Luft der freien Atmosphäre könnten wir dann kälter annehmen als jene, die den Gipfel umspielt, weil letztere in dem erwärmten Boden eine Wärmequelle mehr hat. Außerdem werden die Berggipfel noch durch das Aufsteigen der unterhalb erwärmten Luft erwärmt. Bei starken Winden wird dagegen die dynamische Abkühlung der aufsteigenden Luft den Berggipfel kälter machen.

Auf Grund dieser sich vielfach widersprechenden Ansichten erscheint es angebracht, die Frage „Ist die Luft auf Berggipfeln kälter als die in der freien Atmosphäre in gleicher Höhe" zu klären und besonders dort Untersuchungen anzustellen, wo schon genügendes Beobachtungsmaterial aus der hohen Atmosphäre vorliegt. Dies ist bis jetzt in größerem Maßstabe nur in Berlin und Lindenberg der Fall, wo R. Aßmann seit dem 1. Januar 1903 bis zum heutigen Tage lückenlos täglich durch Drachen oder Ballone Temperaturwerte gewonnen hat.

Besonders geeignet zum Vergleich erscheint der Brocken,[31] der zwar an Höhe (1141 m) der Schneekoppe (1605 m) nachsteht, sich aber dafür durch seine isolierte Lage auszeichnet. Vom Südwesten über Norden nach Ost finden wir weithin keine annähernd so hohe und isolierte Erhebung. Auf dem Brocken befindet sich die höchste Beobachtungsstation Norddeutschlands, die von jeher das besondere Interesse der Meteorologen hervorgerufen hat. Vom Jahre 1836 ab liegen Temperaturbeobachtungen vom Brocken vor, und seit dem 1. Oktober 1895 befindet sich auf diesem Berge ein Observatorium, durch dessen

[31] Königlich Preußisches Meteorologisches Institut, Das meteorologische Observatorium auf dem Brocken. Zur Feier der Einweihung am 31. Mai 1896. Berlin 1896.

Winterbilder vom Brocken. Von Dr. R. Aßmann, Vorsteher der Wetterwarte in Magdeburg. Magdeburg 1884.

Gründung und Einrichtung sich R. Aßmann ein hohes Verdienst erworben hat. Ihm ist frühzeitig die hohe Bedeutung der Bergstationen für die Untersuchung der Atmosphäre klar geworden. Er ist aber auch wieder einer der ersten gewesen, die weiter erkannt haben, daß auch die Bergstationen noch nicht zur einwandfreien Erforschung der meteorologischen Verhältnisse in den hohen Luftschichten genügen. Daher hat er zuerst auch ein großzügig angelegtes aerologisches Observatorium errichtet.

Ihm verdanken wir demnach in erster Linie, daß wir ein so reichhaltiges Material vom Brocken und aus der hohen Atmosphäre den nachfolgenden wichtigen Untersuchungen zugrunde legen können.

II. Arbeitsmethoden.

Bei den vorliegenden Untersuchungen sind die Temperaturangaben benutzt worden, die veröffentlicht sind in den „Ergebnissen der Arbeiten am Aeronautischen Observatorium", 1. Oktober 1901 bis 31. Dezember 1902 und vom 1. Januar 1903 bis 31. Dezember 1904, von R. Aßmann und A. Berson („Veröffentlichungen des Königlich Preußischen Meteorologischen Instituts", herausgegeben von dessen Direktor Wilhelm von Bezold), und ferner die, welche in den „Ergebnissen der Arbeiten des Königlich Preußischen Aeronautischen Observatoriums bei Lindenberg", in den Jahren 1905 bis 1909, herausgegeben von dem Direktor des Observatoriums, Dr. Richard Aßmann, mitgeteilt sind. Die im Jahre 1910 aus der freien Atmosphäre gewonnenen, noch nicht veröffentlichten Temperaturangaben sind mit Genehmigung des Direktors des Lindenberger Instituts, Geh. Regierungsrats Professors Dr. Richard Aßmann, durch Professor Dr. Tetens zur Verfügung gestellt worden. Lückenlose Untersuchungen der freien Atmosphäre liegen seit dem 1. Januar 1903 von allen Tagen vor. Bis 31. März 1905 fanden die Ballon- und Drachenaufstiege auf dem Tegeler Schießplatze im Norden von Berlin statt. Am 1. April 1905 wurde das Aeronautische Observatorium als selbständige Anstalt vom Meteorologischen Institut abgelöst und nach Lindenberg im Kreise Beeskow, 65 km südöstlich von Berlin, verlegt, wodurch die Entfernung des Aufstiegsorts vom Brocken sich indes nicht geändert hat.

Es sind zum Vergleich nur die bei Drachen- oder Fesselballonaufstiegen registrierten Temperaturen herangezogen, dagegen die durch Stichballone (Ballon Sonde) ermittelten Werte unberücksichtigt geblieben, zumal da keine Notwendigkeit vorlag, sich dieser letzteren zu bedienen. Die Werte für 1150 m, Brockenhöhe, sind durch Interpolation festgestellt worden, wo-

bei die Anmerkungen über etwa vorhandene Inversionen und Isothermien berücksichtigt sind.

Die synchronen Temperaturen vom Brocken sind aus den Original-Thermographenstreifen ausgewertet worden. Bis zur Brockenhöhe reichten insgesamt vom 1. Januar 1903 bis 31. Dezember 1910 3764 Aufstiege; von jeder Extrapolation ist abgesehen worden, um unter keinen Umständen unsichere Werte zu erlangen. Es sind überhaupt beim Vergleich nur völlig einwandfreie Temperaturen berücksichtigt worden; Abstiegwerte sind nur dann benutzt, wenn von den betreffenden Tagen keine sicheren Aufstiegwerte vorhanden waren. Es ist aus diesem Grunde, und weil einzelne der synchronen Werte vom Brocken wegen Unbrauchbarkeit der Thermographenstreifen nicht einwandfrei zu ermitteln waren, eine Anzahl von Tagen aus der achtjährigen Reihe ausgeschieden worden. Die verglichenen Werte sind daher die denkbar einwandfreiesten. Im Mittel sind von jedem Jahre 427 Werte benutzt worden, die sich auf durchschnittlich je 326 Tage verteilen. Der immer größer werdenden Übung in der Technik der Ballon- und Drachenaufstiege ist es zu danken, daß von Jahr zu Jahr mehr vergleichbare Werte aus der freien Atmosphäre in Brockenhöhe gewonnen wurden. 1909 und 1910 brauchten nur 16 und 17 Tage unberücksichtigt zu bleiben. Bei Berechnung der Jahreszeitenmittel sind für Winter 1903 auch die für Dezember 1902 vorliegenden 16 brauchbaren Werte benutzt worden. Tabelle II (s. Anhang) gibt die genauen Zahlen wieder.

Für die Ableitung der Ergebnisse sind in der Tabelle III (s. Anhang) die Fälle einander gegenübergestellt, in denen der Brocken kälter, wärmer und ebenso warm war wie die freie Atmosphäre. Alsdann erfolgte die Bildung der Mittel. In Tabelle IV (s. Anhang) sind die einzelnen Monats- und Jahresmittel sowie die Gesamtmonatsmittel der Temperaturen für den achtjährigen Zeitraum von 1903 bis 1910 zusammengestellt, ferner die Gesamtmittel aller Werte, in Tabelle V (s. Anhang) endlich die Jahreszeitenmittel der einzelnen Jahre und des Zeitraumes von 1903 bis 1910.

Da für solche Tage, wo keine brauchbaren Aufstiegwerte vorlagen, Abstiegwerte benutzt worden sind, so ist auch das

Mittel aus diesen gesondert gebildet, um festzustellen, welchen Einfluß das Fortlassen dieser Tage auf die Untersuchung hat. Ferner war eine Ermittelung erforderlich, wie sich die in den einzelnen Stunden vorliegenden Temperaturen zueinander stellen würden. Es wurde deshalb eine Zusammenstellung der Werte nach Stunden vorgenommen (Tabelle VI, s. Anhang). Ferner ist ermittelt, wieviel Temperaturangaben für die Zeit von Sonnenuntergang bis Sonnenaufgang vorliegen. Alsdann wurden die Werte zusammengestellt, die je aus der 1., der 2. und der 3. Stunde nach Sonnenaufgang vorliegen, und die einzelnen Mittel aus ihnen gebildet, um zu untersuchen, wie sich in diesen Stunden die Temperaturen des Brockens zu denjenigen in der freien Atmosphäre verhalten (Tabelle VII, s. Anhang). Die gewählte Gruppierung nach der Beziehung zum Sonnenstande erscheint zweckmäßiger als diejenige nach der bürgerlichen Zeitrechnung. Ferner wurden die Werte für diejenigen Stunden aneinandergereiht, die dem täglichen Temperaturmaximum am nächsten liegen. Es sind die Mittel gebildet für die Zeiten von:

0—1 p
1—2 p
2—3 p
3—4 p
4—5 p

und für mehrere dieser Stunden zusammen.

Weiter wurden sämtliche Werte nach der Wetterlage geordnet (Tabelle VIII, s. Anhang). Hierbei wurden nur diejenigen Tage berücksichtigt, an denen für Brocken und Berlin, bzw. Lindenberg entweder ausgesprochen antizyklonale oder ausgesprochen zyklonale Wetterlage zweifelsfrei vorlag, um so einen absolut einwandfreien Schluß auf den Einfluß der Druckverteilung zu gewinnen. Ferner wurden die Mittel gebildet von sämtlichen Temperaturen, die bei zyklonaler und bei antizyklonaler Wetterlage vorliegen.

Zur anschaulicheren Darstellung wurden auf Tafel 1 und auf Tafel 2 Kurven gezeichnet. Tafel 1 gibt den jährlichen Gang der Temperaturen auf dem Brocken und in der freien Atmosphäre in gleicher Seehöhe nach den Monatsmitteln für die Jahre

1903 – 1910. Auf Tafel 2 ist der jahreszeitliche Gang der Temperaturen auf dem Brocken und in der freien Atmosphäre dargestellt, wie er sich aus den Jahreszeitenmitteln der Jahre 1903—1910 ergibt. Auf beiden Tafeln ist ferner noch einmal gesondert die Differenz im Sinne freie Atmosphäre minus Brocken zur Darstellung gebracht.

III. Ergebnisse.

Aus dem Vergleich aller Temperaturwerte der freien Atmosphäre in 1150 m Höhe mit denen des Brockens ergibt sich, daß sowohl in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle als auch im Gesamtmittel aller berücksichtigten Temperaturen der Brocken kälter ist als die freie Atmosphäre in gleicher Seehöhe. Zu den zur Untersuchung stehenden Zeitpunkten hat sich der Berg in 63,3 % der Fälle kälter, in 34,3 % wärmer und in 2,4 % gleichwarm erwiesen. Als Mittel der benutzten Beobachtungswerte ergibt sich eine Temperatur von 3,5° für die freie Atmosphäre, von 2,8° für den Brocken, so daß also im Gesamtdurchschnitt der Berg um 0,7° kälter war.[32]

Hierbei sind, wie schon erwähnt, auch einige Abstiegwerte berücksichtigt worden. Es könnte nun der Einwand erhoben werden, daß deren Benutzung nicht zulässig sei, weil die Thermographenkurve beim Abstieg infolge Beschlagens des Thermographengefässes zu niedrige Temperaturen anzeige und das Endresultat dadurch gefälscht werde. Diese Möglichkeit ist in der Tat nicht von der Hand zu weisen. Eine gesonderte Betrachtung der Abstiegwerte wird dies bestätigen. Von diesen letzteren sind im ganzen 301 benutzt worden, was 8,8 % aller berücksichtigten Fälle entspricht. Eine Zusammenstellung dieser Abstiegwerte zeigt nun, daß der Brocken in nur 39,5 % der Fälle kälter, in 58,5 % wärmer und in 2 % ebenso warm wie die freie Atmosphäre war. Als Mittel daraus ergibt sich für die freie Atmosphäre 6,6°, für den Brocken 7,2°. Dieser war also, wenn man der Berechnung nur Abstiegwerte zugrunde legt, um 0,6° wärmer als die freie Atmosphäre. Es stellt sich also eine Abweichung unseren anderen Ermittlungen gegenüber heraus.

[32] Berson hatte früher als Mitteltemperatur der freien Atmosphäre in Brockenhöhe 3,3° berechnet. S. „Wissenschaftliche Luftfahrten". Herausgegeben von Richard Aßmann und Arthur Berson. 3. Bd. S. 89.

Da aber die Zahl der berücksichtigten Abstiegwerte im Verhältnis zu den verwendeten Aufstiegwerten nur eine sehr beschränkte ist, so dürfte die Benutzung der ersteren kaum einen merklichen Einfluß auf das Gesamtresultat ausüben. Würde man nämlich nur die Aufstiegwerte in Rechnung ziehen, so ergibt sich für die freie Atmosphäre 3,1°, für den Brocken 2,3°, während wir, wie kurz vorher erwähnt, als Mittel aus allen benutzten Beobachtungswerten 3,5° und 2,8° gefunden haben. Der Unterschied der Temperaturen, 0,8° und 0,7°, ist also in diesem Falle nicht nennenswert.

Betrachtet man dann an der Hand der Tafel 1 den jährlichen Gang der Temperatur auf dem Brocken und in der gleichen Seehöhe der freien Atmosphäre, so ist festzustellen, daß auch hier in allen Monaten der Brocken kälter war als die freie Atmosphäre. Die Kurven zeigen ein gleichsinniges Verhalten. Bei beiden sieht man ein Minimum im Februar, ein Maximum im Juli; allerdings ist in der freien Atmosphäre der August kälter als der Juli, aber nur ganz unmerklich. Den größten Unterschied zwischen Brocken und freier Atmosphäre zeigt der Monat Dezember, in welchem die Differenz —1,6° im Sinne Brocken minus freie Atmosphäre beträgt, während sie im Juni und Juli nur —0,1° ausmacht. Auffallend erscheint, daß der Unterschied im letzten Frühlingsmonat plötzlich stark abnimmt und sich mit — 0,2° den Verhältnissen in den beiden ersten Sommermonaten stark nähert, während er im dritten Sommermonat wiederum erheblich größer wird. Dieses auffällige Ergebnis dürfte wohl seinen Grund darin haben, daß der Mai derjenige Monat ist, in dem sich die Strahlungsintensität der Sonne auf der Erdoberfläche am stärksten bemerkbar macht.

Betrachtet man die Monatsmittel der einzelnen Jahre, so ergibt sich die größte Differenz im Januar 1903 und im November 1904 mit —2,4° (immer im Sinne Brocken minus freie Atmosphäre). Andererseits hat sich aber auch mehrfach das Verhältnis umgekehrt, indem sich der Brocken im Laufe der acht Jahre in 18 Monaten wärmer erwies als die freie Atmosphäre (dreimal war er gleichwarm). Die Unterschiede waren in diesen Fällen folgende:

Februar 1908	0,1°	Juni 1907	0,1°
April 1907	0,2°	Juli 1903	0,6°
Mai 1903	0,5°	Juli 1904	1,3°
Mai 1904	0,8°	Juli 1906	0,8°
Mai 1909	0,5°	August 1904	0,8°
Juni 1903	0,1°	August 1906	0,5°
Juni 1904	0,2°	September 1904	0,1°
Juni 1905	1,0°	September 1908	0,1°
Juni 1906	0,5°	November 1907	0,1°

Aus dieser Zusammenstellung geht hervor, daß der Monat Juni in den Jahren 1903—1907 auf dem Brocken im Mittel stets wärmer gewesen ist als die freie Atmosphäre. Es liegt daher nahe, anzunehmen, daß in den Jahren 1908—1910 anormale Zustände geherrscht haben, die die Umkehrung dieses Verhältnisses zur Folge gehabt haben. Auch theoretische Erwägungen lassen ja erwarten, daß im Sommer infolge der starken Erwärmung des Erdbodens durch die Sonne die dem Gebirge auflagernden Luftschichten eine größere Wärmezufuhr erhalten als die freie Atmosphäre in gleicher Seehöhe.

Was die anzunehmende Abnormität der Verhältnisse in den Jahren 1908—1910 betrifft, so dürfte sie wohl auf die Einflüsse des Vorwiegens zyklonaler Wetterlagen zurückzuführen sein. Bei diesen war nämlich, wie sich bei unseren Untersuchungen herausgestellt hat, der Brocken meist kälter als die freie Atmosphäre. Bei Anordnung des Beobachtungsmaterials nach Wetterlagen ergibt sich, daß der Berg bei zyklonaler Wetterlage in 69,6%, bei antizyklonaler in 53,2% der Fälle kälter war als die freie Atmosphäre.

Gruppieren wir im Anschluß hieran die Temperaturen nach Wetterlagen (Tabelle VIII) und bilden wir gesondert die Mittel aus allen Werten bei zyklonaler Wetterlage (749 Tage) und aus allen Werten bei antizyklonaler Wetterlage (678 Tage), so ergibt sich, daß die Differenz Brocken minus freie Atmosphäre bei zyklonaler Wetterlage — 1,4° beträgt, bei antizyklonaler dagegen nur — 0,5°.

Aus den vorstehenden Erwägungen geht unzweifelhaft hervor, daß die zyklonale Wetterlage überwiegend abkühlend auf die Temperatur des Brockens wirkt,

während bei antizyklonaler Wetterlage ein nennenswerter Einfluß in einem bestimmten Sinne nicht nachweisbar ist. Bei jener beträgt der Unterschied mit $-1{,}4^{\circ}$ genau das Doppelte des Betrages, der aus allen Beobachtungen gewonnen ist, während bei dieser die Differenz nicht erheblich von dem Mittelwert aller Beobachtungen abweicht. Die Tatsache, daß die zyklonale Wetterlage auf die Temperatur des Berges stark abkühlend wirkt, erscheint hinlänglich erklärt durch die dynamische Abkühlung der an den Gebirgshängen noch lebhafter als in der freien Atmosphäre aufsteigenden Luft. Bemerkenswert ist ferner noch die vollkommene Übereinstimmung der Temperatur in der freien Atmosphäre in beiden Wetterlagen, wobei darauf hingewiesen sei, daß die Zahl der untersuchten Fälle für beide Wetterlagen annähernd gleich ist.

Nach diesen Gesichtspunkten sind nun die einzelnen Jahre untersucht worden. In den Jahren 1908, 1909 und 1910 haben zyklonale Wetterlagen vorgeherrscht. Das erkennt man aus der folgenden Zusammenstellung:

1908	Zykl. Wetterl. an	108	Tg.,	antizykl. Wetterl. an	85	Tg.
1909	„ „ „	149	„	„ „ „	75	„
1910	„ „ „	151	„	„ „ „	41	„
Sa. 1908-1910	Zykl. Wetterl. an	408	Tg.,	antizykl. Wetterl. an	201	Tg.

Im Sommer dieser drei Jahre herrschte ganz besonders die zyklonale Wetterlage vor: 122 mal gegenüber 29 antizyklonalen Wetterlagen. Die Zahl der Tage mit zyklonaler Wetterlage in den Jahren 1908 - 1910 insgesamt ist also mehr als doppelt so groß, im Sommer sogar mehr als viermal so groß wie die Zahl der Tage mit antizyklonaler Wetterlage. Hieraus erklärt sich also die Tatsache, daß die Temperatur des Sommers auf dem Brocken in diesen drei Jahren und auch im Mittel aller Jahre nicht höher gewesen ist als diejenige in der freien Atmosphäre (Tafel 1 und 2).

Stellen wir dagegen die Zahlen für die übrigen Jahre, 1903 bis 1907, zusammen, so erhalten wir

im ganzen 341 mal zyklonale, 477 mal antizyklonale Wetterlage,
im Sommer 70 „ „ 100 „ „ „ .

Man kann also für diese Jahre normale Verhältnisse annehmen, zumal da, wie oben bewiesen, die antizyklonalen Wetterlagen keinen bestimmenden Einfluß auf die Temperaturverhältnisse zwischen Brocken und freie Atmosphäre haben. Im Sommer dieser Jahre war aber der Brocken meist wärmer als die freie Atmosphäre; man ist daher wohl berechtigt, dies Verhältnis als das normale anzusehen, und es dürfte daher die weitere Annahme nicht unberechtigt sein, daß bei einer noch größeren Reihe von Jahren sich wahrscheinlich das Gesamtmittel im Sommer umkehren und das auf Grund theoretischer Überlegung zu erwartende Ergebnis eintreten würde, daß im Sommer der Brocken wärmer ist als die freie Atmosphäre in gleicher Seehöhe.

Auffällig ist, daß, während auf dem Brocken das Mittel der Temperaturen vom Juli zu August um fast $^1/_2{}^0$ abfällt, es in der freien Atmosphäre nahezu dasselbe bleibt, nachdem vorher die Temperatur von Juni bis Juli um nicht weniger als 0,6° gestiegen ist. Es lenkt dies unsere Aufmerksamkeit auf die Behauptung einiger Forscher[33], daß beim jährlichen Gange der Temperatur in der freien Atmosphäre gegenüber dem Gange auf der Erdoberfläche eine Verzögerung eintritt. Es ist die Annahme nicht ganz von der Hand zu weisen, daß, wenn man die Werte nicht nach Monaten, sondern nach Pentaden gruppiert hätte, der Höhepunkt der Kurve in der freien Atmosphäre sich etwas verspäten würde. Für diese Annahme liegen auch gewisse Anhaltspunkte vor in der folgenden Übersicht über die wärmsten Monate:

	Freie Atmosphäre	Brocken
1903	Juli	Juli
1904	Juli	Juli
1905	Juli u. August	Juni
1906	August	August
1907	Oktober	August-September
1908	Juli	Juni
1909	August	August
1910	Juni	August

[33] Dr. Arthur Wagner. Die Temperaturverhältnisse in der freien Atmosphäre (Ergebnisse der internationalen unbemannten Ballonaufstiege).

Man ersieht nämlich, daß wenigstens in den 3 Jahren 1905, 1907 und 1908 eine Verzögerung deutlich ausgesprochen ist, während in einem allerdings, wie schon oben erklärt, durch abnorme Verhältnisse ausgezeichneten Jahre (1910) eine Verfrühung erkennbar ist.

Die Kurve (Tafel 1) zeigt weiter, daß im Oktober der Unterschied merklich zunimmt, nämlich auf $-1{,}1^{\circ}$, dann im November auf $-0{,}9^{\circ}$ sinkt, um im Dezember wieder erheblich anzusteigen. Dadurch erscheint angedeutet, daß im Herbst die Temperaturabnahme in der freien Atmosphäre eine Verzögerung gegenüber den auf der Erde herrschenden normalen Verhältnissen erleidet. Die Betrachtung der Einzelwerte zeigt auch, daß dies in einigen Jahren, 1904 und 1909, deutlich ausgeprägt ist, ganz besonders aber 1907, wo der Oktober sogar als der wärmste Monat erscheint. Es ist allerdings nicht ganz ausgeschlossen, daß der mittlere Gang der Temperatur im Herbst durch die ganz abnormen Witterungsverhältnisse dieses Jahres entstellt wurde.

Es ist nun weiter untersucht, wie sich die aus den Nachtstunden, zwischen Sonnenuntergang und Sonnenaufgang, vorliegenden Temperaturen des Brockens und der freien Atmosphäre zueinander verhalten. Es liegen 210 Werte, 6,2% aller Beobachtungen, vor. Als Mittel dieser Temperaturen ergibt sich für die freie Atmosphäre $2{,}4^{\circ}$, für den Brocken $1{,}4^{\circ}$. Der Brocken erwies sich also in der Nacht um $1{,}0^{\circ}$ kälter; der Unterschied hat sich also gegenüber den beim Gesamtmittel hervorgetretenen Zahlen ($3{,}5^{\circ}$ und $2{,}8^{\circ}$) um $0{,}3^{\circ}$ vergrößert, ein Ergebnis, welches mit Rücksicht auf die nächtliche Ausstrahlung der Erdoberfläche nicht anders zu erwarten war.

Dagegen überrascht ein anderes Resultat etwas, nämlich die Tatsache, daß sich bei den vorliegenden Werten herausstellt, daß der Brocken auch in den Mittagsstunden im Mittel nicht

Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre, Zeitschrift für die Erforschung der höheren Luftschichten. Herausgegeben von R. Aßmann, Lindenberg und H. Hergesell, Straßburg, III. Bd.

A. Coym, Mittelwerte der Temperatur und Windgeschwindigkeit für Höhenstufen von 500 m. In „Ergebnisse der Arbeiten des Königlich Preußischen Aeronautischen Observatoriums", III. Bd., 1907.

wärmer erscheint als die freie Atmosphäre. Es ergeben sich nämlich folgende Mittel:

	Freie Atmosphäre	Brocken
0—1^{p}	5,9°	6,1°
1—2^{p}	6,6°	6,1°
2—3^{p}	4,1°	4,0°
3—4^{p}	4,2°	4,0°
4—5^{p}	4,1°	3,6°
ferner		
0—2^{p}	6,3°	6,1°
0—3^{p}	5,1°	5,0°
0—4^{p}	4,9°	4,8°
0—5^{p}	4,8°	4,7°
und endlich		
1—3^{p}	4,9°	4,7°
2—4^{p}	4,1°	4,0°

Es ist aus dieser Zusammenstellung zunächst ersichtlich, daß auch im Gesamtmittel der Stunden von 0—5^{p} der Brocken um 0,1° kälter war als die freie Atmosphäre. Nur für die Stunde von 0—1^{p} war er um 0,2° wärmer, während man dies mehr für die Zeit von 1—3^{p} erwarten sollte, in welchen Stunden die der Erde auflagernden Luftschichten die größte Wärme erhalten.

Es stellt sich also heraus, daß in den Nachtstunden, aus denen 6,2% der Fälle vorliegen, der Brocken um einen erheblichen Betrag, 1,0°, kälter ist als die freie Atmosphäre, während er dagegen in der einzigen Stunde des Tages, in welcher er überhaupt höhere Temperatur aufwies, sich nur um einen sehr geringen Betrag, 0,2°, wärmer zeigte. Allerdings betragen die Beobachtungen von 0—1^{p} nur 2% aller Fälle. Aus Tabelle VI geht hervor, wieviel Werte aus den einzelnen Stunden vorliegen und wieviel Prozent der Gesamtsumme sie darstellen.

Die Zusammenstellung der Temperaturwerte für die drei ersten Stunden nach Sonnenaufgang ergibt, daß der Brocken um 1,4°, 1,4° und 1,2° kälter war als die freie Atmosphäre. Diese Stunden schließen sich also hinsichtlich des Betrages der Temperaturdifferenz den Nachtstunden an. Allerdings ist die Differenz in den Morgenstunden um einige Zehntelgrade größer als in der Nacht; aber dies dürfte durch den Umstand

seine Erklärung finden, daß aus den Nachtstunden nur eine sehr geringe Zahl von Beobachtungen vorliegt.

Fassen wir nun zum Schluß die Hauptergebnisse unserer Untersuchungen zusammen, so ergibt sich folgendes:

Der Brocken war im Mittel um 0,7° kälter als die freie Atmosphäre.

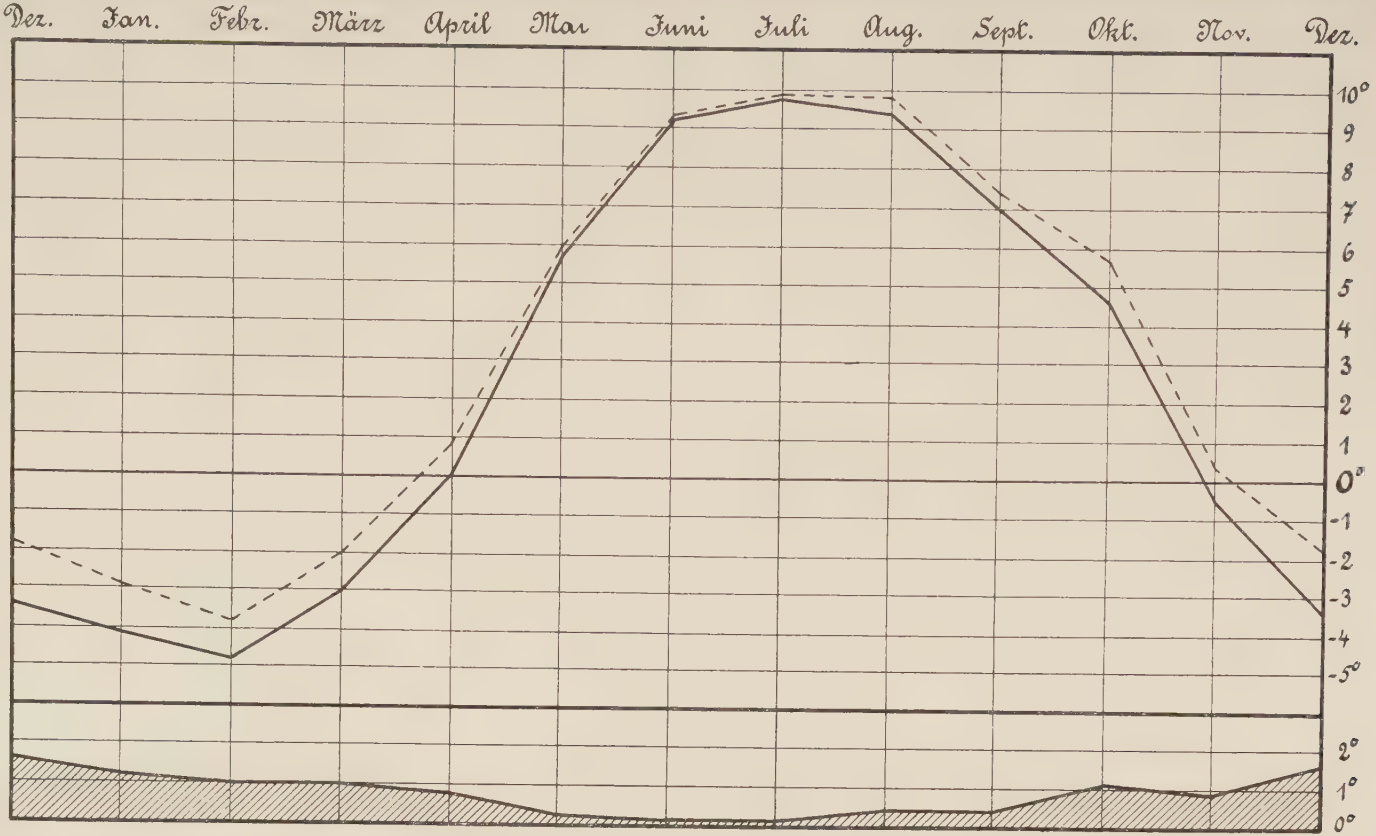
Während der Nachtstunden ergab sich im Sinne Brocken minus freie Atmosphäre ein Unterschied von —1,0°, während der ersten Stunden nach Sonnenaufgang ein solcher von —1,4°.

In den Nachmittagsstunden von 0—5ᵖ betrug die Differenz im Mittel nur —0,1°, in der Zeit von 0—1ᵖ war der Brocken um 0,2° wärmer als die freie Atmosphäre.

Bei zyklonaler Wetterlage hob sich die Differenz auf —1,4°, also das Doppelte des mittleren Betrages, während bei antizyklonaler Wetterlage der Unterschied nur —0,5° betrug. Man muß also bei Beurteilung der Temperaturverhältnisse auf Bergen und in der gleichen Höhe der freien Atmosphäre stets die Wetterlage berücksichtigen.

Anhang.

Tafel I. Jährlicher Gang der Temperaturen auf dem Brocken und in der freien Atmosphäre in gleicher Seehöhe, sowie ihre Differenzen (im Sinne freie Atmosphäre minus Brocken), dargestellt nach 3416 Einzelbeobachtungen der Jahre 1903—1910.



Tafel 2. Jahreszeitlicher Gang der Temperaturen auf dem Brocken und in der freien Atmosphäre in gleicher Seehöhe, wie in Tafel 1.

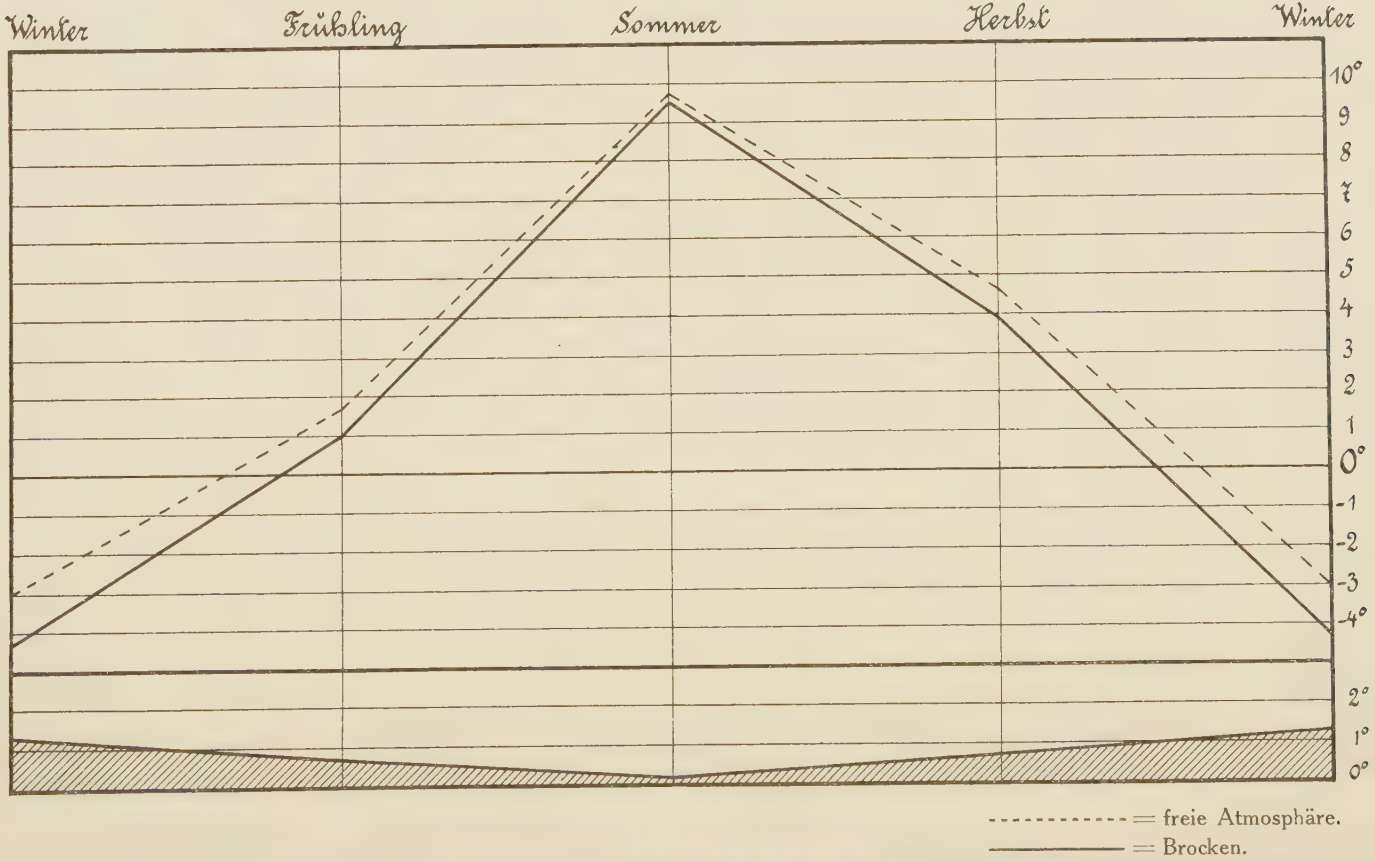


Tabelle II. Vergleichende Übersicht der Zahl der vorhandenen

	Januar			Februar			März			April			Mai			Juni			
	a*	b*	c*	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	
1902																			
1903	28	27	25	20	17	17	26	26	25	26	24	24	26	25	25	23	22	22	
1904	27	21	20	31	22	20	33	29	26	29	29	27	30	29	28	28	28	27	
1905	28	24	23	27	25	22	20	15	15	25	21	21	39	37	29	34	31	30	
1906	39	34	27	36	34	26	43	39	30	36	34	29	41	35	27	32	31	29	
1907	40	34	29	36	31	26	34	34	30	45	45	29	39	37	27	38	36	27	
1908	33	31	26	29	27	24	43	38	28	56	48	26	57	50	30	59	52	28	
1909	37	35	29	38	37	28	45	43	29	64	52	27	58	53	29	64	57	30	
1910	37	35	30	40	35	27	39	39	29	62	52	29	58	50	29	63	52	29	
Summe 1903—1910	269	241	209	257	228	190	283	263	212	343	305	212	348	316	224	341	309	222	3

* Spalte a enthält die Zahl der in den Publikationen vorliegenden mindestens bis Brockenhöhe reichenden Ballon
„ b „ „ „ „ verglichenen Temperaturwerte.
„ c „ „ „ „ Tage, an denen Vergleiche zwischen den Temperaturen der freien Atmosphäre

benutzten Beobachtungsfälle und der dazugehörigen Tage.

li		August			September			Oktober			November			Dezember			Jahr		
b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
														31	16	16			
26	26	27	26	24	26	22	22	33	33	30	21	21	21	30	28	28	313	297	289
32	30	28	25	25	27	27	27	32	29	28	29	25	23	32	28	27	359	324	308
33	30	47	45	30	37	36	28	31	27	26	33	28	26	40	33	28	394	355	308
35	30	36	34	30	39	37	28	32	35	30	37	36	28	32	27	25	441	411	339
30	28	38	35	28	41	36	30	43	39	31	37	33	28	33	33	27	470	433	340
32	30	54	47	29	57	45	29	38	30	26	40	36	28	36	34	27	567	490	331
38	31	64	49	30	56	50	29	36	36	29	38	37	29	47	45	29	607	552	349
39	27	75	68	30	60	59	30	41	39	30	42	41	29	40	35	29	613	554	348
35	232	369	329	226	343	312	223	286	268	230	277	257	212	290	263	220	3764	3416	2612

Drachenaufstiege.

s Brockens vorgenommen sind.

Tabelle III. Vergleichende Übersic

	Januar				Februar				März				April				Mai				Juni			
	Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war		
		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm
1903	27	21	6	—	17	13	4	—	26	17	9	—	24	15	9	—	25	12	13	—	22	13	9	—
1904	21	14	7	—	22	14	7	1	29	23	6	—	29	20	8	1	29	14	15	—	28	14	13	1
1905	24	19	5	—	25	21	3	1	15	13	2	—	21	13	7	1	37	23	14	—	31	14	17	—
1906	34	28	5	1	34	27	6	1	39	27	12	—	34	20	11	3	35	16	16	3	31	11	18	2
1907	34	15	19	—	31	23	8	—	34	20	14	—	45	20	25	—	37	24	13	—	36	17	18	1
1908	31	24	7	—	27	11	15	1	38	22	16	—	48	33	14	1	50	29	20	1	52	26	25	1
1909	35	24	11	—	37	18	17	2	43	32	10	1	52	28	23	1	53	25	26	2	57	36	20	1
1910	35	17	15	3	35	30	4	1	39	26	12	1	52	38	11	3	50	29	20	1	52	37	14	1
Summe	241*	162	75	4	228	157	64	7	263	180	81	2	305	187	108	10	316	172	137	7	309	168	134	7
		67,2	31,1	1,7		68,8	28,1	3,1		68,4	30,8	0,8		61,3	35,4	3,3		54,4	43,4	2,2		54,3	43,4	2,3

* In der letzten Reihe sind für die Gesamtwerte der Jahre 1903—1910 die Prozente angegeben, die den darüber s

der Zahl der Beobachtungsfälle.

Juli			August				September				Oktober				November				Dezember				Jahr			
er Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war			Verglichene Werte	Der Brocken war		
	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm		kälter	wärmer	gleichwarm
3	12	1	26	14	12	—	22	16	6	—	33	21	11	1	21	10	9	2	28	23	5	—	297	188	105	4
0	22	—	25	9	16	—	27	15	10	2	29	25	4	—	25	21	4	—	28	23	5	—	324	202	117	5
1	12	—	45	31	14	—	36	20	14	2	27	21	6	—	28	26	2	—	33	28	5	—	355	250	101	4
2	21	2	34	16	18	—	37	15	19	3	35	23	12	—	36	30	6	—	27	20	6	1	411	245	150	16
3	16	1	35	21	13	1	36	19	17	—	39	32	6	1	33	17	13	3	33	26	6	1	433	257	168	8
5	16	1	47	31	13	3	45	21	24	—	30	11	16	3	36	11	24	1	34	23	10	1	490	277	200	13
3	24	1	49	37	11	1	50	35	15	—	36	28	8	—	37	21	14	2	45	40	4	1	552	357	183	12
1	17	1	68	45	22	1	59	44	11	4	39	27	11	1	41	35	3	3	35	26	8	1	554	385	148	21
8	140	7	329	204	119	6	312	185	116	11	268	188	74	6	257	171	75	11	263	209	49	5	3416	2161	1172	83
,8	43,1	2,1		62,0	36,2	1,8		59,3	37,2	3,5		70,2	27,6	2,2		66,5	29,2	4,3		79,5	18,6	1,9		63,3	34,3	2,4

nden Zahlen entsprechen.

Tabelle IV. Monatsmittel der Temperaturen.

	Januar		Februar		März		April		Mai		Juni		Juli		Aug.		Septbr.		Oktbr.		Novbr.		Dezbr.		Jahr	
	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken
1902																							—5,0	—7,0		
1903	—1,6	—4,0	0,9	—1,4	1,0	0,5	—0,9	—1,7	5,8	6,3	8,6	8,7	9,7	10,3	8,0	7,8	9,3	8,3	5,1	4,4	1,7	—1,9	—1,9	—3,6	3,5	2,9
1904	—1,7	—2,9	—4,0	—4,3	—0,1	2,2	3,6	2,0	4,7	5,5	7,8	8,0	11,2	12,5	9,1	9,9	6,2	6,3	5,5	3,2	0,8	—1,6	—0,4	—2,6	4,0	3,3
1905	—3,5	—5,6	—2,8	—4,5	0,8	—1,4	—0,2	—1,3	6,6	5,7	10,6	11,6	11,7	11,3	11,7	10,4	7,0	6,4	0,9	—1,7	—0,6	—2,9	—0,8	—2,6	4,0	3,0
1906	—2,2	—3,5	—4,0	—5,1	—4,4	—5,2	3,6	2,9	7,2	6,8	7,4	7,9	10,2	11,0	10,9	11,4	7,3	7,2	6,2	5,7	3,6	2,0	—5,1	—6,8	3,7	3,2
1907	—5,3	—5,4	—5,3	—6,3	—3,2	—3,8	—1,3	—1,1	5,9	5,8	7,7	7,8	8,0	7,5	8,8	8,8	8,8	8,8	9,9	7,8	1,2	1,3	—2,9	—3,7	2,8	2,4
1908	—2,8	—3,7	—5,0	—4,9	—3,0	—3,3	—0,7	—1,8	7,1	6,6	11,1	10,8	12,4	10,7	8,6	7,6	6,1	6.2	5,9	5,9	—1,9	—2,0	—2,7	—3,6	3,3	2,8
1909	—2,9	—4,2	—6,7	—7,0	—3,7	—4,5	1,7	1,3	2,5	3,0	8,1	7,6	7,9	7,4	10,9	9,9	8,0	7,3	7,0	5,4	—3,2	—3,8	—1,3	—3,6	3,2	2,6
1910	—3,0	—3,7	—1,5	—3,2	—1,0	—2,0	0,7	—0,7	7,6	6,2	11,8	10,8	9,2	8,6	9,6	8,8	7,1	6,2	6,0	5,2	—2,2	—3,7	0,0	—1,4	4,1	3,0
Summe 1903—1910	—2,9	—4,1	—3,8	—4,8	—2,0	—3,0	0,8	0,0	5,9	5,7	9,3	9,2	9,9	9,8	9,8	9,4	7,4	7,0	5,7	4,6	0,4	—0,5	—1,8	—3,4	**3,5**	**2,8**

Tabelle V. Jahreszeitenmittel der Temperaturen.

	Winter		Frühling		Sommer		Herbst	
	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken	Freie Atmosphäre	Brocken
1903	— 1,8	— 4,1	2,0	1,7	8,8	9,0	4,4	3,8
1904	— 2,4	— 3,6	2,8	1,9	9,5	10,3	4,3	2,8
1905	— 2,2	— 4,1	3,2	2,0	11,4	11,1	2,0	0,9
1906	— 2,4	— 3,7	2,1	1,5	9,6	10,2	5,7	5,0
1907	— 5,2	— 6,1	0,3	0,1	8,2	8,9	6,8	6,1
1908	— 3,5	— 4,0	1,3	0,6	10,6	9,8	3,4	3,4
1909	— 4,1	— 5,0	0,2	0,0	8,9	8,2	6,2	5,6
1910	— 2,0	— 3,5	2,5	1,2	10,2	9,4	3,8	2,8
Summe 1903—1910	— 3,0	— 4,3	1,7	1,0	9,7	9,5	4,6	3,9

Tabelle VI. Übersicht über die Zahl der Beobachtung

	Vormittag							
	12–1	1–2	2–3	3–4	4–5	5–6	6–7	7–8
Der Brocken war kälter	28	4	10	6	5	73	178	82
„ „ „ wärmer	10	1	3	2	3	21	52	42
„ „ „ gleichwarm	1	—	—	—	—	4	5	2
Summe	39	5	13	8	8	98	235	126
Prozent der Gesamtbeobachtungen	1,1	0,1	0,4	0,2	0,2	2,9	6,9	3,7

Tabelle VII. Mittelwerte der Temperaturen des Brockens und der f

	Januar			Februar			März			April			Mai			
	Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte
		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken	
1. Stunde nach Sonnenaufgang . .	76	−3,4	−4,4	14	−4,1	−5,6	2	−1,9	−3,6	18	0,7	−0,9	2	4,6	2,9	—
2. „ „ „ . .	66	−3,0	−4,2	92	−3,8	−4,8	16	−2,8	−5,1	36	−0,4	−2,1	21	4,2	2,1	12
3. „ „ „ . .	28	−1,9	−3,2	50	−3,3	−4,5	78	−2,0	−3,3	16	2,0	1,0	28	5,4	5,1	32

Tabelle VIII. Gesamtzahl der Tage mit zyklonaler un

	Januar		Februar		März		April		Mai	
	zyklonal	antizyklonal	zyklonal	antizyklonal	zyklonal	antizyklonal	zyklonal	antizyklonal	zyklonal	antizyklonal
Zahl der Fälle	57	93	61	52	62	60	74	32	60	46
Der Brocken war kälter in % der Fälle .	63,2	67,7	72,1	65,4	75,8	70,0	74,3	46,9	58,3	28,3
„ „ „ wärmer „ % „ „ .	29,8	28,0	21,3	32,7	14,5	25,0	20,3	37,5	25,0	56,5

Die Angaben über die Fälle, in denen der Brocken gleichwarm war oder bei mehreren Beobachtungen an ei

hrer Verteilung auf die einzelnen Tagesstunden.

			Nachmittag											
—10	10—11	11—12	12—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9	9—10	10—11	11—12
555	175	83	30	63	99	56	22	20	33	17	24	13	13	35
311	135	56	39	42	95	56	25	8	13	5	7	8	12	10
17	8	2	1	1	12	2	2	—	1	—	—	—	1	—
883	318	141	70	106	206	114	49	28	47	22	31	21	26	45
25,8	9,3	4,1	2,0	3,1	6,0	3,3	1,4	0,8	1,4	0,6	0,9	0,6	0,8	1,0

Atmosphäre für die ersten drei Stunden nach Sonnenaufgang.

	Juli			August			September			Oktober			November			Dezember			Jahr		
	Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur		Zahl der Werte	Temperatur	
		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken		freie Atmosphäre	Brocken
	1	15,0	9,8	10	8,7	7,9	36	6,5	5,3	3	9,1	9,8	32	—2,5	—4,0	104	—1,1	—2,6	298	—0,4	—1,8
	21	9,1	7,6	41	9,3	7,9	27	8,1	6,5	28	4,4	2,7	104	—0,9	—2,1	68	—1,8	—3,8	532	0,5	—0,9
	38	9,3	7,7	14	9,9	8,8	33	6,5	5,8	109	5,4	4,0	46	0,5	—0,2	27	—3,1	—4,5	499	2,7	1,5

yklonaler Wetterlage in den einzelnen Monaten.

	Juli		August		September		Oktober		November		Dezember		Gesamtsumme	
ntizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal	zyklo-nal	antizy-klonal
36	56	53	73	40	47	74	47	62	78	57	71	73	749	678
33,3	58,9	28,3	69,9	35,0	65,9	40,5	80,8	58,1	73,1	54,4	81,7	76,7	69,6	53,2
58,3	14,3	60,4	12,3	62,5	2,1	48,6	17,0	37,1	23,1	38,6	11,3	19,2	19,0	39,7

e einen Unterschied in verschiedenem Sinne zeigte, sind fortgelassen.

Lebenslauf.

Ich, Alfred Louis Heinrich Hildebrandt, Sohn des Pastors Theodor Hildebrandt, wurde geboren am 10. Juni 1870 zu Wittingen in der Provinz Hannover. Nach Ablegung der Abiturientenprüfung auf dem Gymnasium zu Salzwedel wandte ich mich der militärischen Laufbahn zu und wurde nach bestandenem Offiziersexamen zum Leutnant im Fußartillerieregiment Nr. 10 zu Straßburg im Elsaß befördert.

Im Jahre 1907 nahm ich infolge zahlreicher im Luftfahrtdienst erlittener schwerer Verletzungen meinen Abschied, nachdem ich zuletzt die Dienststellung eines Hauptmanns und Lehrers beim Luftschifferbataillon bekleidet hatte.

Nach meinem Abschied studierte ich in Straßburg, Berlin und Rostock Naturwissenschaften.

Am 2. Dezember 1911 bestand ich das Examen rigorosum.

An dieser Stelle möchte ich Veranlassung nehmen, meinen verbindlichsten Dank auszusprechen Herrn Professor Dr. Ule (Rostock), der mir die Anregung zu dieser Arbeit gegeben hat, sowie den Herren Professor Dr. Stade (Berlin) und Professor Dr. Tetens (Lindenberg), die mir bei Beschaffung des bearbeiteten Materials behilflich gewesen sind.